

Stabiliteitsproblemen bij het boren van diepinfiltratieputten

HARRIE TIMMER, NV WZHO

Om in de toekomst aan de vraag naar drinkwater te kunnen blijven voldoen onderzoekt de NV Watermaatschappij Zuid-Holland Oost (WZHO) de techniek van diepinfiltratie. De beoogde infiltratie dient plaats te vinden in het tweede watervoerende pakket in Langerak (ZH). Doel van het onderzoek is ervaring op te doen om daarmee een operationele diepinfiltratie-installatie op praktisch-schaal te kunnen bouwen en bedienen.

De eerste leerzame ervaringen traden al bij de aanleg van de diepinfiltratieput in het voorjaar van 1996 op. Tijdens de boorwerkzaamheden stortte tot tweemaal toe een put in. In dit artikel wordt het onderzoek naar de oorzaak van de instabiliteit van het boorgat beschreven en worden enkele voorlopige conclusies getrokken ten aanzien van de inrichting van het toekomstige puttenveld in Langerak. Hoewel onbedoeld, kan dit worden gezien

als een eerste resultaat van het diepinfiltratie-onderzoek bij WZHO.

Boorwijze

Voor de constructie van de infiltratieput was gekozen voor een zuigboortechniek waarbij, na het op diepte komen, de boorspoeling in het boorgat wordt vervangen door schoon water en de wand van het filtertraject geschraapt wordt (Olsthoorn en van Harlin-

gen, 1994). Hiermee wordt voorkomen dat kleine deeltjes uit de boorspoeling op de boorgatwand blijven zitten en naderhand voor verstopping van de infiltratieput zorgen. Met deze methode waren door andere drinkwaterleidingbedrijven (GWA/EWR) reeds goede ervaringen opgedaan.

In Langerak zou eerst het filtertraject worden geboord met een diameter van 960 mm, waarna het gat zou worden 'uitgeschraapt' tot 1000 mm.

In tabel 1 is de geologische opbouw en de hydrogeologische schematisatie gegeven. Door de hoge waterspanning in met name het te doorboren eerste watervoerende pakket was gekozen voor een verhoogde booropstelling (zie foto). Met deze verhoogde opstelling waren enige jaren eerder 20 conventionele onttrekkingsputten gerealiseerd met een diameter van 600 mm tot dezelfde diepte. Hierbij waren, voor zover bij WZHO bekend, geen noemenswaardige problemen opgetreden. Problemen werden dus niet voorzien.

Ervaringen in Langerak

Nadat bij de eerste poging de boring op diepte was gekomen (-93 m.), en de inhoud van het boorgat was verversd door schoon leiding-

Verhoogde booropstelling met mantelbuis.



Onderzoek naar oorzaak

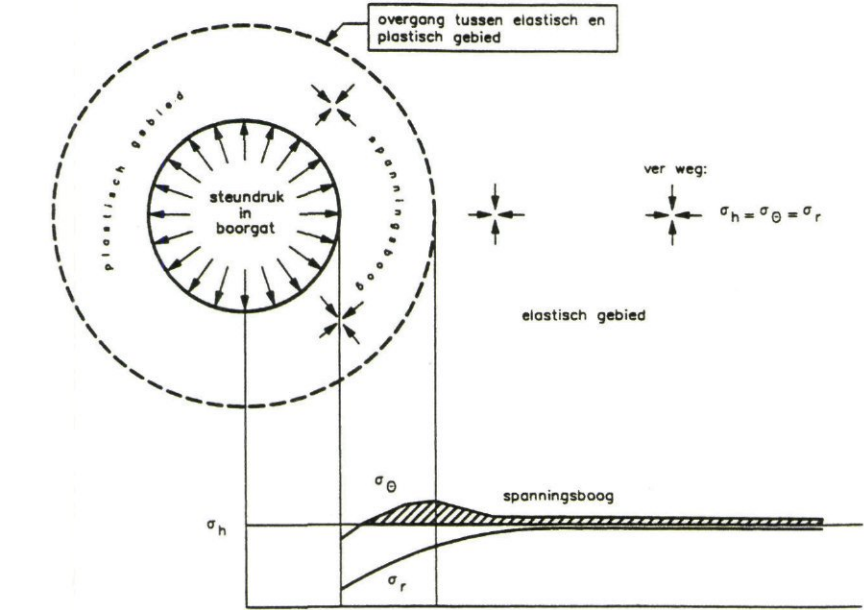


Direct na de problemen met de eerste put is onderzoek begonnen naar de mogelijke oorzaak van de instabiliteit. In eerste instantie werd gedacht aan het zwellen van klei. Het idee hierbij is dat water in de kleilaag dringt en uitwisseling van kationen plaatsvindt tussen het werkwater in het boorgat en zwelgevoelige klei-mineralen zoals montmorillioniet en illiet. De structuur van de kleilaag gaat daarbij verloren, en de klei kan vervolgens in het boorgat vallen.

Deze hypothese hield niet lang stand: analyse van de invallende klei leerde dat deze slechts voor een gering aandeel uit zwelgevoelige mineralen bestond. Daarnaast is de doorlatendheid van klei zodanig gering dat gedurende de tijd dat het boorgat openstaat maar zeer weinig water kan instromen. (Peters et al., 1996).

Al snel werd de oorzaak dan ook gezocht in meer klassieke grondmechanica: ter plaatse van de boorgatwand valt in de onvoldoende geconsolideerde kleilaag de zijdelingse steundruk weg en bezwijkt de wand als gevolg van onvoldoende tegendruk.

Om deze theorie te verifiëren en de kritieke factoren te bepalen is onderzoek uitgevoerd door Grondmechanica Delft (GD) en Kiwa. De resultaten van deze onderzoeken zijn getoetst aan de ervaring door grondboorbedrijf Haitjema. Hoewel geen volledig bevredigende oplossing kan worden aangedragen, zijn de resultaten zeker interessant te noemen. Hiernavolgend zijn de onderzoeken samengevat.



Afb. 1: Spanningsverdeling rond boorgat.

water, trad kleival op in de Formatie van Kedichem (zie tabel 1). Tijdens het schrapen bleek het boorgat tot -83 m. te zijn dichtgevalen waarna de put gecontroleerd is dichtgestort met klei en zand.

Circa acht meter verderop werd een tweede poging gewaagd. Hierbij werd aan de natuurlijke boerspoeiing (fijne deeltjes die in circulatie blijven) een cellulose polymeer spoeling toegevoegd. Gerekend werd op een iets afpleisterende werking van deze spoeling waardoor de boorgatwand in stand zou blijven. Dit bleek tevergeefs: ook dit boorgat werd

direct na het vervangen van de boerspoeiing door schoon water instabiel.

Om het vervolg van de infiltratieproeven niet in gevaar te brengen is op dat moment besloten de infiltratieput te realiseren door een stalen casing aan te brengen van 1016 mm diameter tot onder de Formatie van Kedichem en vervolgens door de casing te boren. Op de einddiepte is de put uiteindelijk weer geschraapt met schoon water en afgewerkt conform het oorspronkelijke plan. Het behoeft geen betoog dat dit een dure oplossing is.

Tabel 1. Overzicht geologie en invoerparameters PLAXIS.

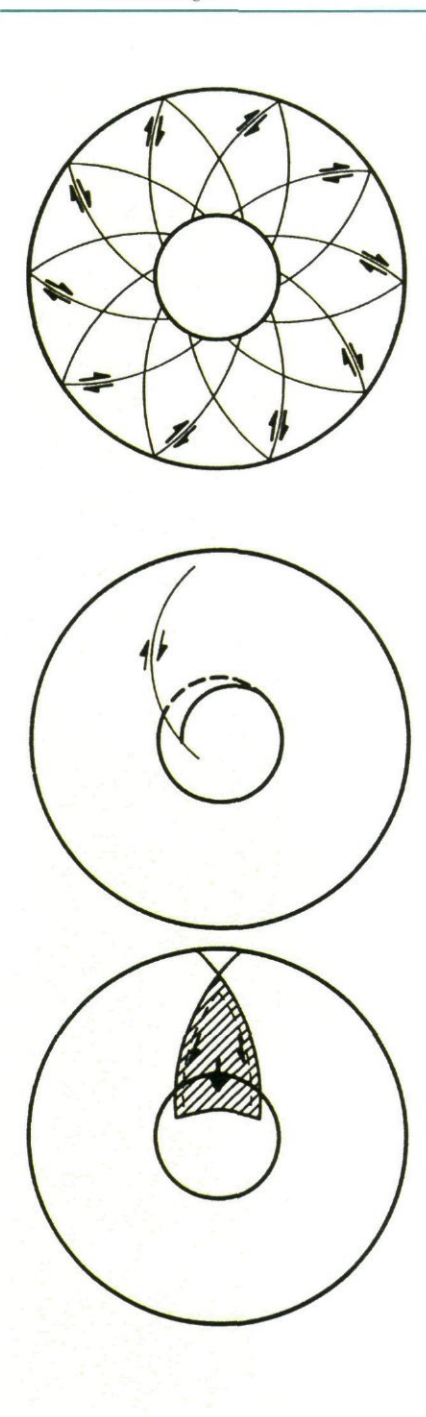
Grondeigenschappen en geologie	Hydro-geologische Schematisatie	Diepte (m. -nap)	Stijghoogte (m.+nap)	γ grond (kN/m³)	φ (°)	c (kPa)	E (MPa)	ν (-)
1, Veen/klei (Holoceen)	1 ^c SDL	1-10		13	24	3	1	0,3
2, zand (F. van Urk, Sterksel en Kreftenheye)	1 ^c WVP	11-43	-1.27	20	32	1	25	0,3
3, klei (F. van Kedichem)	2 ^c SDL	44-66		19	27	10	10	0,49
4, zand (F. van Kedichem en Harderwijk)	2 ^c WVP	67-93	-4.31	20	32	1	30	0,3
5, klei (F. van Tegelen)	3 ^c SDL	> 93		18	27	10	25	0,49

Waarin: γ_{grond} = volumegewicht van de grond φ = hoek van inwendige wrijving c = cohesie E = elasticiteitsmodulus
ν = dwarscontractiecoëfficiënt,

Onderzoek grondmechanica Delft: theoretische achtergrond

Bij het boren van een put wordt de horizontale ondersteuning van de grond die direct aan het gat grenst verminderd. Bij een te geringe steundruk zal de grond direct grenzend aan het boorgat elastisch in de richting van het boorgat verplaatsen. Een groot gedeelte van deze verplaatsing wordt bij het boren direct weggesneden door de boorkop zodat er geen zichtbare ‘instulping’ in het boorgat overblijft. Er ontstaat een steeds sterkere ‘boogwerking’, waarbij de spanningen loodrecht op de boorgatwand lager worden maar de spanningen rondom het gat toenemen

Afb. 2: Regelmatig en instabiel vervormingspatroon rond het boorgat.



Boorgatdiameter	ø 1000 mm		ø 600 mm	
Wateroverdruk	2 m	4 m	2 m	4 m
Grootste grondverplaatsing kleilaag Formatie van Kedichem	115 mm	87 mm	53 mm	43 mm

Waarin:
 2 m. wateroverdruk = verhoogde boorstelling en schoon water (s.g. 1.00)
 4 m. wateroverdruk = verhoogde boorstelling en lichte spoeling (s.g. 1.03)

Tabel 2. Grootste berekende grondverplaatsingen in boorgat bij verhoogd opstellen, met en zonder boorspoeling.

(afbeelding 1). Na verloop van tijd kan dan plasticiteit ontstaan (blijvende vervorming) in de direct aan het boorgat grenzende grond.

Normaal gesproken zorgt bij een boring de steundruk ervoor dat het instulpen van de boorgatwand onder controle blijft. Deze steundruk wordt veelal verkregen door gebruik te maken van boorspoeling (verzwaren soortelijke gewicht) of door het realiseren van een overhoogte door het verhoogd opstellen van de boorstelling in combinatie met een mantelbuis zoals te zien is op de foto.

In theorie zal plasticiteit direct rond het boorgat in een homogeen materiaal volgens een regelmatig patroon optreden. Helaas is de natuur niet homogeen en is de kans groot dat de vervorming niet wordt “uitgesmeerd” over een groot aantal glijvlakken, maar dat een bepaald glijvlak de vervorming naar zich toetrekt (afbeelding 2). Het gevolg hiervan is dat een gedeelte van de boorgatwand instort.

Schaaleffecten zijn hierbij van wezenlijk belang. Hoe groter de diameter, des te meer kans dat zich in de nabijheid van het gat een onregelmatigheid in de grond voordoet die instabiliteit van het boorgat kan inleiden.

Modelberekeningen stabiliteit boorgat

Het boorgat is door GD met behulp van het eindige elementen programma PLAXIS axiaal-symmetrisch gemodelleerd. Hiermee wordt de driedimensionale spanningssituatie rondom het boorgat gesimuleerd. De berekeningen zijn uitgevoerd om de macro-stabiliteit te onderzoeken van boorgaten met een diameter van 1000 en 600 mm, beide met een diepte van 92 meter.

Om de verschillen in steundruk in het boorgat als gevolg van de boorspoeling aan te geven zijn voor beide diameters twee situaties doorgerekend:

- 2 m. overhoogte = verhoogde boorstelling en schoon water (s.g 1.00)

- 4 m. overhoogte = verhoogd boorstelling en lichte spoeling (s.g. 1.03).

Deze berekeningen zijn gemaakt om een verklaring te verkrijgen waarom in het verleden conventionele putten met een diameter 600 mm probleemloos geboord konden worden terwijl de nu beoogde infiltratieput met diameter 1000 mm zoveel problemen opleverde.

Tabel 1 geeft de invoerparameters voor de berekeningen, tabel 2 de resultaten.

Als uitvoerresultaat geeft PLAXIS onder andere een ‘deformed mesh’ plot welke de optredende vervormingen in de grond weergeeft. In deze plot wordt ook weergegeven wat de maximaal optredende verplaatsing is. Daarnaast is de ‘plasticity’ plot interessant omdat deze aangeeft waar de vervormingen zo groot worden dat plasticiteit optreedt. Meestal beperkt het voorkomen van de plastische elementen zich tot de directe omgeving van het boorgat.

Resultaten modelberekeningen

De berekeningsresultaten betreffen in alle gevallen eind-deformaties. In tabel 2 zijn de grootste berekende verplaatsingen vermeld. Deze berekende verplaatsingen zijn conform de ervaringen opgetreden ter hoogte van de Kedichem-kleilaag.

Als we de “berekende grondverplaatsing” bij een boorgatdiameter van 1000 mm bij gebruik van schoon water vergelijken met de berekeningen voor een boorgat van 600 mm met gebruik van een lichte spoeling, is de eerste significant groter. Uit de plasticiteitsberekeningen volgt (voor homogene grond) dat er wel veel plastische punten zijn ter hoogte van de Kedichem laag, maar dat er geen doorgaand bezwijkvlak optreedt. Er valt dus niet rechtstreeks een conclusie te trekken dat bij het boren met een diameter van 1000 mm het boorgat bezwijkt. Verwijzend naar het mechanisme zoals afgebeeld in afbeelding 2 is het echter wel aannemelijk dat bij deze diameter en een geringe wateroverdruk de kans op bezwijken groter is.

Tweedimensionale stabiliteitsberekeningen

Kiwa heeft de stabiliteit van het boorgat berekend via een tweedimensionale benadering, gebruik makend van de grondeigenschappen zoals beschreven in tabel 1. Bestudeerd is of er sprake is van evenwicht in de spanningstoestand rond de boorgatwand. Uit deze berekening volgt eveneens dat de Kedichem-laag instabiel wordt. Dit wordt met name geweten aan de relatief kleine hoek van inwendige wrijving. Ook hier worden eindsituaties berekend. Aangetoond wordt dat boorgaten theoretisch altijd in moeten storten bij de gebruikelijke boorspoelingen met een soortelijk gewicht van 1.02 - 1.03. Dat het instorten van putten in de praktijk relatief zelden voorkomt kan worden verklaard doordat de eindsituatie niet wordt bereikt en de filters veelal tijdig worden gesteld en afgewerkt.

Toetsing aan de praktijk

De berekeningen en theorieën zijn getoetst aan de ervaring van het grondboorbedrijf Haitjema. Deze constateert dat uit metingen van de boorgat diameter (caliperlog) zelden of nooit 'instulping' blijkt: er is geen verschil waarneembaar tussen klei- en zandlagen. Dit ondersteunt de eerdere bewering dat de elastische grondverplaatsing vrijwel direct wordt weggesneden door de boorkop.

Tevens merkt Haitjema op dat er wel degelijk eveneens enkele stabiliteitsproblemen zijn opgetreden bij het boren van de 600 mm. putten te Langerak. Deze zijn toen opgelost door gebruik te maken van een goed afpleisterende cellulose polymeer spoeling. De relatie tussen kleival en boordiameter is naar hun ervaring gering. Ook in kleine boorgaten treedt kleival op. De boorfirma adviseert dan ook voor volgende infiltratieputten het gebruik van een polymeer spoeling in combinatie met een goede putontwikkeling.

Oorzaak instabiliteit boorgat en remedie

Op basis van de voorgaand beschreven onderzoeken kan voorzichtig worden geconcludeerd dat de instabiliteit van het boorgat ter hoogte van de Kedichem-kleilaag wordt veroorzaakt door de spanningsafname rondom het boorgat en het ontstaan van glij/breukvlakjes. Door gebruik te maken van een goed afpleisterende spoeling kan het bezwijken van het boorgat worden voorkomen. De verklaring die hiervoor gegeven kan worden is dat door het gebruik van spoeling de breukvlakjes worden 'dichtgezet'. Door deze 'afpleistering' kan de oorspronkelijke onderdruk gehandhaafd

worden. Deze onderdruk wordt normaal opgeheven als het water vrijelijk kan binnentreden. Zolang deze onderdruk blijft bestaan zal de klei in de wand blijven hangen en valt de klei niet. Na verloop van tijd, of na afbraak van het polymeer, zal toch vocht tussen de breukvlakjes dringen, vervalt de onderdruk en kan de klei gaan vallen. Het gebruik van deze spoeling vertraagt zo het bereiken van de grondmechanische eindsituatie en verschaft zo de benodigde tijd om de put te realiseren. Bij gebruik van schoon water zal geen afpleistering optreden en zal de boorgat wand vrijwel direct vervormen.

Conclusies

- Het instorten van de boorgaten te Langerak is te verklaren door het ontstaan van glij/breukvlakjes bij het doorboren van de Kedichem-kleilaag.
- Het instorten had voorkomen kunnen worden door voldoende steundruk en een goed afpleisterende spoeling.
- De wandschraapmethode met schoon water is niet zonder meer overal toepasbaar.
- Grondmechanische berekeningen kunnen een indicatie geven of een boorgat stabiel zal zijn maar kunnen geen volledig uitsluitel geven.
- Met behulp van PLAXIS-berekeningen kan aannemelijk worden gemaakt dat bij een groter boorgat een grotere kans op instabiliteit optreedt. Deze relatie tussen boorgatdiameter en instabiliteit wordt echter in de praktijk niet zo ervaren.

Naar aanleiding van deze onderzoeken, kostenafwegingen en de wetenschap dat ongeschraapte putten bijvoorbeeld bij DZH en PWN al jarenlang relatief probleemloos functioneren, heeft WZHO besloten om bij de definitieve inrichting van het puttenveld in Langerak niet de schraapmethode met schoon water toe te passen, maar infiltratieputten te realiseren met een conventionele zuigboormethode met spoeling waarbij na het doorboren van de Formatie van Kedichem de boorspoeling van fijne deeltjes wordt ontdaan en vervangen door schoon water met een volledig afbreekbaar cellulose polymeer spoeling.

Verantwoording

Dit artikel is gebaseerd op een aantal onderzoeken zoals weergegeven in de literatuurlijst. Voor het gebruik van het materiaal en het kritische commentaar op deze compilatie is dank verschuldigd aan de heren Martin Dijkema en Dirk Luger van GD, Jos Peters van Kiwa en Anne Nieuwaal van grondboorbedrijf Haitjema. 

LITERATUUR

- Dijkema, M.R. en H.J. Luger, (1996) Briefrapport met betrekking tot instabiliteit infiltratieput Langerak, Grondmechanica Delft
- Nieuwaal, A. (1996), Notitie betreffende instabiliteit infiltratieput Langerak. Briefrapport grondboorbedrijf Haitjema
- Oltshoorn, T.N. en van Harlingen, S. (1994) Infiltratieputten: schoon boren door wandschrapen, H₂O (27) 1994, nr 21.
- Peters, J. H., M.J.C. van Baar, E.J. Schrama, W.J.M.K. Senden, (1996) Boren van infiltratieputten in de Alblasserwaard en Vijfheerenlanden, Kiwa KOA 96.221
- Deelder, C. (1976), Boorspoelingen, Kiwa mededeling nr. 46, Kiwa, Rijswijk